

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten  
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,  
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,  
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,  
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005  
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Helge Drumm  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau  
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:  
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Dr. V. Herold / Dr. C.T. Weber/ Dipl.-Ing. St. Eckner

## **Formverstellbares Polierwerkzeug für sphärische optische Funktionsflächen**

### **ABSTRACT**

Beim Polieren optischer Funktionsflächen besteht neben der Glättung der Oberfläche das Ziel darin, die beim vorangegangenen Schleifen erzielte Formgenauigkeit zu bewahren und ggf. zu verbessern. Bislang geschieht die Einflußnahme auf die Makrogeometrie meist empirisch über Veränderungen der Kinematik, der Poliermitteltemperatur oder durch entsprechendes Abrichten des Poliermittelträgers. Im Beitrag wird ein speziell konstruiertes Polierwerkzeug vorgestellt, bei dem durch einen in einer rückseitigen Kammer wirkenden pneumatischen Überdruck die membranartige Struktur der formübertragenden Werkzeugfläche elastisch verformt wird. Damit wird im Prozeß direkt die Form des Werkstücks gesteuert.

### **EINFÜHRUNG**

Die Bearbeitung optischer Funktionsflächen an Linsen bzw. Spiegeln wird i. a. mit mehrstufigen Prozessketten durchgeführt, bei denen sukzessive eine Annäherung an die geforderte Makro- und Mikrogeometrie erfolgt. Am weitesten verbreitet sind zur Vorbearbeitung das Schleifen mit Diamantwerkzeugen und zur Endbearbeitung das chemo-mechanische Polieren. Charakteristisch für Polierverfahren zur Bearbeitung optischer Funktionsflächen sind die i. A. mehrkomponentigen Relativbewegungen zwischen dem formübertragenden Werkzeug und dem Werkstück, elastische bzw. viskoelastische Poliermittelträger und Suspensionen mit sehr feinkörnigen Abrasivmitteln, deren abtrennende / glättende Wirkung z. T. durch chemische Effekte unterstützt wird. Die bereits sehr hohe Formgenauigkeit nach dem Schleifen wird beim nachfolgenden Polieren wieder verschlechtert, sofern keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Häufig eingesetzte Polierverfahren sind das Polieren auf Hebelmaschinen und das SynchroSpeed-Verfahren (Polieren mit starren Achsen). Das SynchroSpeed-Verfahren ist durch die direkt angetriebene Rotation von Werkzeug und Werkstück gekennzeichnet, wobei die Rotationsachsen in einem bestimmten starren Winkel zueinander stehen. Zur Gewährleistung der Formgenauigkeit der Werkstückoberflächen werden darüber hinaus mit einem Rechenalgorithmus der Zuschnitt des Poliermittelträgers in einer bestimmten Struktur vorausbestimmt.

Die Formbildung am Werkstück resultiert aus örtlichen Abtrennhöhen die wiederum das Ergebnis der örtlich wirkenden Drücke und der Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück sind (PRESTON-Hypothese). Gestaltabweichungen des Werkstückes im Ergebnis des Polierprozesses können mehrere Ursachen haben (Abrichtfehler, Werkzeugverschleiß, Fehler in der exakten Führung und Positionierung von Werkzeugoberfläche und Werkstück zueinander, unerwünschte elastische und thermische Gestaltänderungen von Polierwerkzeug, Werkstück und/oder Maschinenteilen). Insgesamt gibt es eine Vielzahl von nicht oder nicht genau determinierten und sich wechselseitig beeinflussenden Faktoren, die das Ergebnis des Bearbeitungsvorganges beeinflussen.

Für gegebene Werkzeug/ Werkstück – Kombinationen ist die Einflussnahme auf die örtliche Abtrennwirkung beim Polieren und damit insgesamt auf die Oberflächengestalt der bearbeiteten Werkstückoberfläche prinzipiell durch die lokale Relativgeschwindigkeit bzw. durch den zurückgelegten Weg zwischen Werkzeug und Werkstück sowie durch den örtlich aufgebrachtten Bearbeitungsdruck möglich. Bei Polierwerkzeugen mit PUR-Folien kann durch den Abrichtprozess und die in dessen Ergebnis vorliegende Makrogeometrie des Werkzeuges Einfluss auf die Ausbildung der Oberflächengestalt des Werkstückes genommen werden. Diese Einflussnahme ist zum einen nur prozessintermittierend möglich. Zum anderen ist damit auch ein Substanzverlust am Wirkmittelträger verbunden.

Nach heutigem Stand erfolgen aufgrund dieser Komplexität Eingriffe in den Polierprozess häufig empirisch. So wird beispielsweise die Temperatur der Poliersuspension variiert, um Einfluss auf das Polierergebnis (Formbildung) zu nehmen. Da sich die Wirkung praktisch kaum auf das Polierwerkzeug und Werkstück begrenzen lässt, sind unerwünschte Veränderungen der Relativlage von Werkzeug und Werkstück nicht ausgeschlossen.

Ein Erfolg versprechender Ansatz ist die direkte Beeinflussung der Druckverteilung über eine gezielte Deformation der Werkzeuge mit geeigneten Aktorprinzipien, die in Abhängigkeit von der Flächenform und der Kinematik der Bearbeitung statisch oder dynamisch erfolgen kann.

## **AUFBAU DES PNEUMATISCH VERSTELLBAREN POLIERWERKZEUGS**

Es wurde ein spezielles Polierwerkzeug konstruiert, bei dem durch einen in einer rückseitigen Kammer wirkenden pneumatischen Überdruck die membranartige Struktur der formübertragenden Werkzeugfläche elastisch verformt wird. Die neuartige Konstruktion des Polierwerkzeuges ist gekennzeichnet durch die mittels FEM-Berechnung optimierte Querschnittsform des Werkzeugkörpers sowie durch zur Vermeidung von Hystereseeffekten oder Reibkräften gewählte

Feststoffgelenke (erkennbar in Abbildung 2), wodurch eine Beibehaltung der Sphärizität bei Verstellung gewährleistet ist.

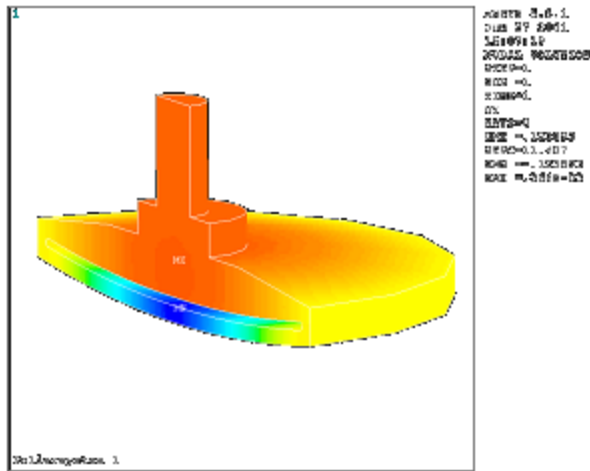


Abbildung 1: FEM-Modell des Polierwerkzeugs

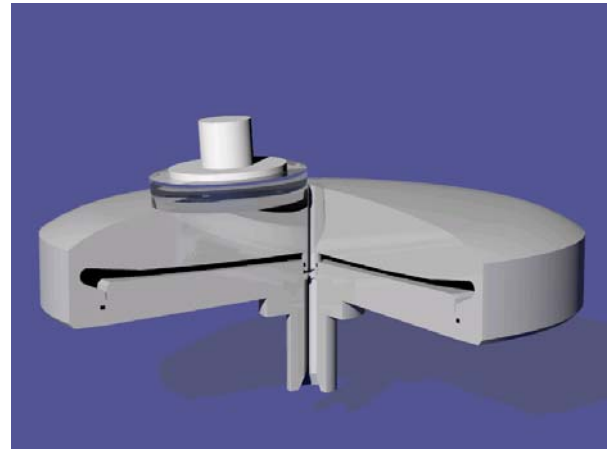


Abbildung 2: Schnittdarstellung des Polierwerkzeugs mit aufgesetztem Werkstück



Abbildung 3: Vorderansicht Polierwerkzeug. Auf diese Seite wird der Poliermittelträger geklebt.



Abbildung 4: Rückseite mit den Schnittstellen

Zur indirekten Kontrolle der Formverstellung ist ein Drucksensor integriert.

Durch präzises prozessintermittierendes Verstellen der Form der Werkzeugoberfläche können z. B. aus Verschleiß oder Temperatureinflüssen resultierende Ungenauigkeiten ausgeglichen werden.

Das verstellbare Polierwerkzeug muss für jede Linsengeometrie (optischer Radius und Durchmesser) gerechnet und gefertigt werden.

## EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

Die Funktion des Polierwerkzeugs wurde anhand von experimentellen Ergebnissen, die unter fertigungsnahen Bedingungen ermittelt wurden, demonstriert. Zur Erprobung wurden Serienlinsen mit  $\varnothing 180\text{mm}$  und einem konkaven Radius von ca. 1100mm aus dem Programm einer Optik-Firma

ausgewählt. Für die Versuche stand eine CNC gesteuerte SynchroSpeed-Maschine zur Verfügung. Die Poliersuspension wurde mittels einer der Maschine innewohnenden Automatik konstant temperiert auf 22°C. Das ist in sofern von Belang, da die Poliermitteltemperatur sich über thermisch bedingte Verformungen des Werkzeuges direkt auf die Geometrie der zu polierenden Linse auswirkt. Wie bereits weiter oben erwähnt, ist die Änderung der Poliermitteltemperatur das gebräuchliche Werkzeug des Polierers, um das Polierergebnis hinsichtlich der Formausbildung zu beeinflussen.

Das verstellbare Polierwerkzeug wurde auf 22,9kPa aufgepumpt und war somit annähernd in seiner mittleren Stellung. Anschließend wurde das Polierwerkzeug auf den Nennradius der Linse abgerichtet.

Die erste Linse wurde 15min poliert und diente als Referenzlinse für die Interferometermessung, die stets eine vergleichende Messung ist.

Verschiedene Drücke wurden im Polierwerkzeug eingestellt, weitere Linsen poliert und interferometrisch die Formabweichung gegenüber der Referenzlinse gemessen.

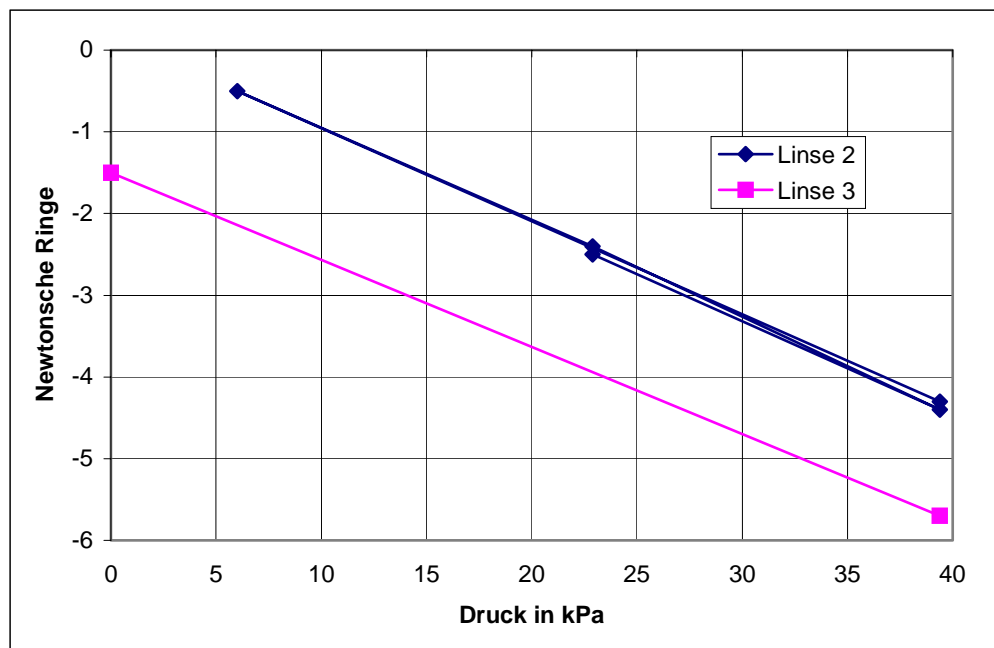
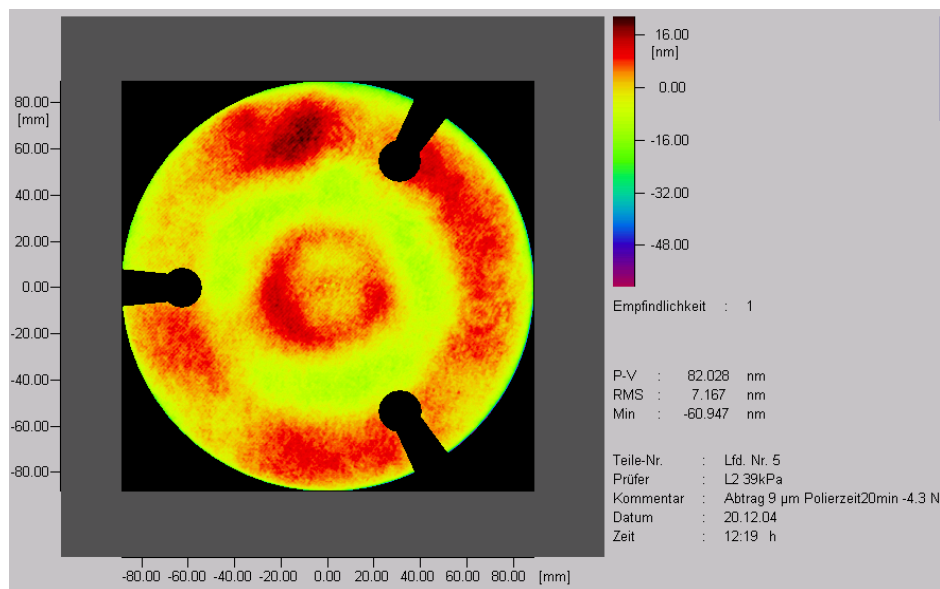


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Druck im Werkzeug und Form des Werkstücks

Die Form der Linse folgt der Form des Polierwerkzeug und lässt sich in beide Richtungen durch Verstellen des Polierwerkzeug reproduzierbar und mit linearer Abhängigkeit direkt steuern. Dies ist in Abbildung 5 deutlich erkennbar. Der vom Drucksensor limitierte Verstellbereich des Polierwerkzeug ließ bei diesem Linsenradius eine Formänderung von 4 Ringen zu. Die festgestellte Formänderung um ca. 1,4 Ringe von Linse 3 gegenüber Linse 2, ohne Verstellung des Polierwerkzeug, beruht auf der abrichtenden Wirkung der noch rauen Oberfläche der geläpften

Linse 3. Mit jeder neuen Linse wird das Polierwerkzeug in seiner Form beeinflusst, da die Linsen bewusst hohler geläppt werden, als der Nennradius ist.

In Abbildung 6 ist die interferometrische Messung eines Polierzustandes dargestellt, um zu demonstrieren, daß die Oberflächen keine signifikanten Strukturen aufweisen und relativ gleichmässig sind. Die Radienänderungen an der Polierschale hatten keinen wesentlichen Einfluss auf die Formabweichungen höherer Ordnung.



**Abbildung 6: Interferometrische Messung der Feinpasse von Linse 2 (best-fit-Radius abgezogen) nach 20min Politur; 39,0kPa im Werkzeug**

## RESUME

Die aufgrund der zeitlichen Restriktionen mit wenigen Versuchen gewonnenen Ergebnisse zeigen eine prinzipielle Eignung des Funktionsprinzips und dieses speziellen Werkzeuges zur globalen Formkorrektur im Polierprozess. Gegenüber den herkömmlichen Methoden zur Formkorrektur (z.B. Veränderung der Temperatur der Poliersuspension; Änderung des Drehzahlverhältnisses; erneutes Abrichten des Poliermittelträgers) erfolgt mit diesem Polierwerkzeug eine direkte und schnelle Einflussnahme auf den Prozess. Auch wird bei Kenntnis des quasilinearen Zusammenhangs zwischen Druck im Polierwerkzeug und Formänderung die Treffsicherheit der Korrektur sehr hoch sein.

### Autorenangabe:

Dr.-Ing. Christian-Toralf Weber, IGAM Ingenieurgesellschaft für angewandte Mechanik mbH, Steinfeldstraße 3-5, D-39179 Barleben, mail: [weber@igam-mbh.de](mailto:weber@igam-mbh.de), phone: +49(0)39203/8989-80, fax: +49(0)39203/8989-89

Dr.-Ing. habil. Volker Herold, Dipl.-Ing. Steffen Eckner, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie, Lößdergraben 32, D – 07743 Jena, phone: +49(0)3641/947753, fax: +49(0)3641/947702, [volker.herold@uni-jena.de](mailto:volker.herold@uni-jena.de), [steffen.eckner@uni-jena.de](mailto:steffen.eckner@uni-jena.de)